

Государственное высшее учебное заведение
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ОТЧЁТ
по лабораторной работе №69

ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ С ПОМОЩЬЮ
МАЯТНИКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Выполнил студент группы _____

Преподаватель кафедры физики

Отметка о защите _____

Лабораторная работа № 69

ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы – определить момент инерции симметричного тела относительно оси, проходящей через центр масс.

Приборы и принадлежности: физический маятник, имеющий форму кольца; штангенциркуль; секундомер.

Общие положения

Физическим маятником называется твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания относительно неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс.

Отклоним маятник от положения равновесия на угол α . При этом возникает момент силы тяжести M , возвращающий маятник в положение равновесия (рис.1):

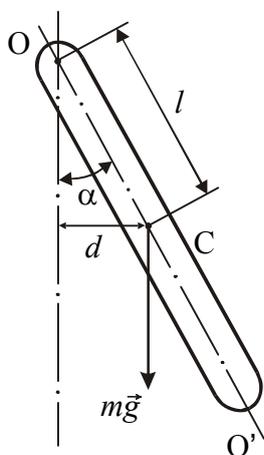


Рисунок 1

$$M = -mgd = -mgl \sin \alpha, \quad (1)$$

где m – масса маятника,
 l – расстояние между точкой подвеса O и центром масс C .

$d = l \sin \alpha$, где d – плечо силы тяжести mg .

Знак « $-$ » поставили потому, что момент силы тяжести стремится уменьшить угол отклонения маятника. Согласно основному закону динамики вращательного движения

$$M = J\varepsilon, \quad (2)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси

колебаний,

ε – угловое ускорение маятника.

$$\varepsilon = \frac{d^2 \alpha}{dt^2}. \quad (3)$$

На основании формул (1), (2) и (3) можно записать:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -mgl \sin \alpha. \quad (4)$$

Если угол отклонения мал (не превышает $3 \div 5^\circ$), то $\sin \alpha \approx \alpha$ (α должен быть выражен в радианах). Уравнение (4) в этом случае можно привести к виду:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{mgl}{J} \alpha = 0. \quad (5)$$

Введем обозначение:

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J}, \quad (6)$$

где ω_0 – циклическая частота собственных колебаний физического маятника.

Тогда

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega_0^2\alpha = 0. \quad (7)$$

Это уравнение является дифференциальным уравнением гармонических колебаний. Его решение имеет вид:

$$\alpha = \alpha_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (8)$$

где α_{\max} – амплитуда колебаний, т.е. максимальный угол отклонения маятника;
 φ_0 – начальная фаза.

Период гармонических колебаний физического маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}. \quad (9)$$

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

Физический маятник 1 представляет собой однородное кольцо массой m (рис. 2). Значение массы указано на кольце. Кольцо устанавливается на стержне с опорной призмой 2. Из формулы (9) можно определить момент инерции маятника относительно оси колебаний:

$$J = \frac{T^2 mgl}{4\pi^2}. \quad (10)$$

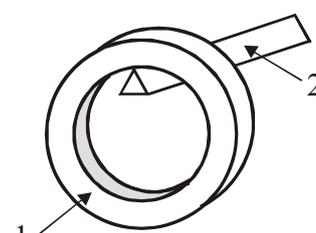


Рисунок 2

Период колебаний рассчитывается по формуле

$$T = \frac{t}{N}, \quad (11)$$

где t – время, в течение которого маятник совершает N полных колебаний.

Расстояние l от точки подвеса маятника до его центра масс

$$l = \frac{d}{2}, \quad (12)$$

где d – внутренний диаметр кольца.

Момент инерции J_c маятника относительно оси, проходящей через центр масс, определим, используя теорему Штейнера:

$$J = J_c + ml^2. \quad (13)$$

Отсюда

$$J_c = J - ml^2. \quad (14)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается момент инерции маятника относительно оси колебаний. Поясните смысл обозначений.

4. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Записать значение массы m , указанное на кольце.
2. Измерить штангенциркулем внутренний диаметр d кольца пять раз в разных местах. Найти среднее значение диаметра.
3. Поместить кольцо на опорную призму 2.
4. Отклонить кольцо на угол $3 \div 5^\circ$ от положения равновесия в плоскости параллельной стене.
5. Отпустить кольцо, одновременно включив секундомер. Измерить время t , за которое маятник совершит N полных колебаний ($N \cong 100$).
6. Повторить измерения времени и числа колебаний еще четыре раза, согласно п. 4 и 5.

Оформление отчёта

1. Расчёты

1. Рассчитать период колебаний маятника по формуле (11) для каждого опыта. Найти среднее значение периода.
2. Рассчитать значение l по формуле (12), подставив среднее значение диаметра.
3. Рассчитать момент инерции маятника относительно оси колебаний по формуле (10) по средним значениям l и T . Принять $g=9,81 \text{ м/с}^2$.
4. Рассчитать момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс, по формуле (14).
5. Рассчитать абсолютную погрешность ΔJ_c как для косвенных измерений по формуле:

$$\Delta J_c = J_c \sqrt{4 \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 + 4 \left(\frac{\Delta N}{N} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2},$$

где Δt , Δl и Δm приборные погрешности.

6. Найти относительную погрешность измерений. Записать окончательный результат в стандартном виде.

$$J_c = \langle J_c \rangle \pm \Delta J_c$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие колебания называются гармоническими? Запишите уравнение гармонических колебаний.
2. Какой маятник называется физическим? Запишите формулу периода колебаний физического маятника. Поясните смысл обозначений.
3. Сформулируйте теорему Штейнера. Запишите формулу.
4. При каких условиях колебания физического маятника можно считать гармоническими?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 69

Выполнил(а) _____

Группа _____

Масса кольца $m =$ _____Приборная погрешность секундомера $\Delta t =$ _____Приборная погрешность штангенциркуля $\Delta l =$ _____Приборная погрешность весов $\Delta m =$ _____

№ п/п	d , мм	N	t , с	T , с
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

Дата _____

Подпись преподавателя _____